

PIC Mikrodenetleyici Tabanlı Otomatik Voltaj Regülatörü Tasarımı

Erdem İLTEN

Elektrik Mühendisi
erdemilten@balikesir.edu.tr

M. Kubilay EKER

Elektrik Mühendisi
kubilay@balikesir.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Balıkesir bölgesinde mevcut senkron generatör üretici bir firmanın ihtiyaçlarına cevap verebilecek bir Otomatik Voltaj Regülatörü (Automatic Voltage Regulator, AVR) tasarlanmasına çalışılmıştır. Üreticiler çoğunlukla analog AVR'ler kullanmasına rağmen mikrodenetleyicilerin gelişmiş özellikleri, çeşitli denetim algoritmalarını ve koruma amaçlı tasarımları basit yazılımlarla çözebilmesi, sistemin daha fazla performans sağlamasına yol açacaktır. Senkron generatör uç geriliminin nominal değerde tutulmasını sağlamak amacıyla tasarlanan AVR, Microchip firmasının PIC16F877 mikrodenetleyici ürünü kullanılarak elde edilmiştir. Generatörün gerilim, akım ve frekans bilgileri ve tristör anahtarlama için gerekli sıfır geçiş algılama işlemleri için arayüz donanımları oluşturulmuştur. Çalışmanın tasarım safhası, Proteus/Isis programında yapılan benzetimlerle geliştirilmiştir. Üretilen prototipler laboratuvar şartlarında test edilmiş ve firmanın imal ettiği generatörler için uygun AVR'nin elde edilmesi çalışmaları devam etmektedir. Anahtar kelimeler: Otomatik voltaj regülatörü, AVR, senkron generatör, mikrodenetleyici, PIC16F877

1. Giriş

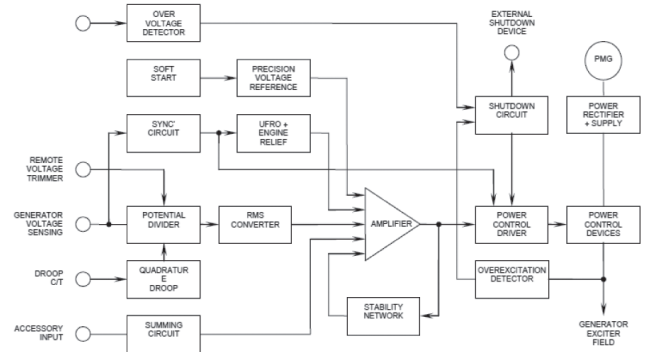
Senkron generatörlerin çeşitli elektriksel yükler altında uç geriliminin nominal değerinde tutulabilmesi için otomatik voltaj regülatörlerine ihtiyacı vardır [1-2].

Balıkesir'de GENSAN Elektrik Makinaları San. Ve Tic. A.Ş [3] ile yapılan görüşmelerde bazı alıcıların teknik şartnamelerinde istedikleri, 3 fazlı tam dalga kontrolünün yapılması, yüksek frekanslı generatörler için otomatik voltaj regülasyonu, nominal frekansın altında V/f oranının kontrolü, aşırı akımların algılanıp generatörün korunması, generatörün çıkış gerilimi ve frekansı ile uyarma devresinin akımının bir LCD ekranda görüntülenmesi gibi bazı taleplerinin karşılanamadığı öğrenilmiştir. Bu görüşmelerin neticesinde sayısal kontrollü bir otomatik voltaj regülatörü tasarlanması hedeflenmiştir.

Otomatik voltaj regülatörleri çoğunlukla analog

devreler olarak üretilmektedir [4]. Analog devrelerin tasarımı zor olmasına rağmen, elektromanyetik alanlarda problemsiz çalışabilmesi yüzünden yaygın olarak kullanılmaktadır. Sayısal kontrollü otomatik voltaj regülatörlerinde, bazı işlemlerin yazılan algoritmalar ile çözülebilmesi devre tasarımı açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır [5-6]. Sayısal devrelerde, ölçülen büyüklüklerin bilgisayar ortamına iletilebilmesi ve buradan istenen büyüklüklerin uzaktan ayarlanabilmesi de sayısal devreler için bir üstünlük oluşturmaktadır. Ayrıca geliştirilen yeni denetim algoritmalarının sayısal devreler aracılığıyla rahatlıkla yazılabilmesi bu denetim tekniklerinin üstünlüklerini kullanabilmek, sistemlerin kararlı ve verimli çalışması açısından önemlidir. Hem analog hem de sayısal devrelerde uyarma devresi geriliminin denetimi tristör elemanları kullanılarak yapılmaktadır [4].

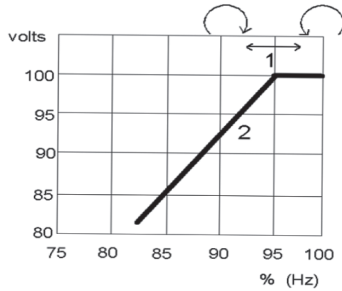
Dizel generatör üreticisi General Power şirketinin web sayfasından [7] da görüleceği gibi, başlıca otomatik gerilim regülatörü üreten firmalar: Stamford [8], Leroy Somer [9], Marathon [10], Basler [11] ve Sincro [12] gibi uluslar arası firmalardır. General Power şirketinin sayfasında, bu AVR'lere ilişkin teknik detaylar da verilmektedir. Bu firmaların birçoğu analog AVR üretmesine rağmen, sayısal AVR ürünleri için DVR (Digital Voltage Regulator) kısaltması kullanılmaktadır. Şekil 1'de analog MA330 AVR'sinin [13] çalışmasına ilişkin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 1 MA330'un blok diyagramı

Bu AVR'nin başlıca teknik özellikleri şunlardır:

- Generatör çıkış geriliminin kontrolü: Generatör nominal frekansında çalışır iken elektriksel yüklerin etkisiyle oluşan gerilim değişimlerinin yeniden nominal gerilim seviyesine getirilmesi PI kontrol mantığıyla yapılmaktadır.
- Düşük frekans kontrolü (Şekil 2): Generatörün frekansı, nominal frekansın %95'inin altında iken Volt/Hertz sabit oranı korunarak generatörün çıkış gerilimi kontrol edilmektedir.



1 kısmı: Nominal gerilim kontrolünün yapıldığı bölge

2 kısmı: V/f kontrolünün yapıldığı bölge

Şekil 2: Generatörün düşük frekanslarda Volt/Hz oranıyla çalışma karakteristiği (13).

Sincro firmasının dijital AVR'sinin [14] teknik özellikleri incelendiğinde, DVR'nin, mikrodenetleyici ile kontrol edilmekte olduğu ve set değerlerinin USB/RS485 dönüştürücü ile bilgisayar ortamından ayarlandığı görülmektedir.

Bu çalışmada mikrodenetleyici tabanlı sayısal otomatik voltaj regülatörü tasarımı Microchip firmasının PIC16F877 entegresi kullanılarak elde edilmiştir.

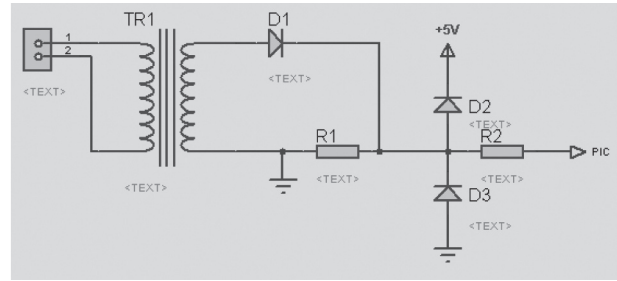
2. Otomatik Voltaj Regülatörü Tasarımı

Otomatik voltaj regülatörü devresinin tasarlanması ve deney simülasyonları Proteus/Isis programında yapılmıştır. Çalışmada ilk olarak sıfır geçiş algılama ve tek fazlı yarım dalga kontrollü tristör tetikleme devresi tasarlanmıştır. Sonrasında tek fazlı gerilim okuma devresi, akım okuma devresi ve frekans okuma devresi tasarlanmış, LCD ekranda değerler görüntülenmiştir. Çalışmalar sırasında ölçme ve kontrol algoritmalarının tek PIC ile yapılması sırasında problemler meydana gelmesinden dolayı ölçme ve kontrol devreleri ayrı PIC'ler tarafından kontrol edilmiştir. Sonraki çalışmalarda, üç fazlı generatör uç geriliminin okunması, generatörün çıkış frekansının okunması, uyarma devresi akımının okunması, uyarma devresinin geriliminin sıfır geçiş noktalarının algılanması ve

tristörlü anahtarlama devresi için ayrı devreler tasarlanmış ve deney sonuçları analiz edilmiştir.

2.1. Sıfır Geçiş Algılama ve Tristör Anahtarlama Devresi

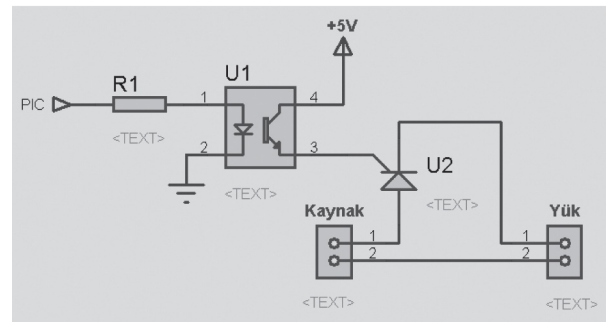
Senkron generatörün uyarma devresi tristörlü bir devre ile uyarılmaktadır. Uyarma devresinin geriliminin değiştirilmesi, tristörün tetikleme açısının değiştirilmesiyle ayarlanmaktadır. Tristörün tetikleme açısını değiştirebilmek için tristör devresindeki sinüsoidal gerilimin periyodunun başlama noktalarının bilinmesi gerekir. Sinüs işaretli bir sinyalin sıfır geçiş noktalarının belirlenmesi, sinyalin periyodunun başlama noktalarını tespit etmemizi sağlar. Şekil 3'te sıfır geçiş algılama devresi verilmektedir.



Şekil 3: Sıfır geçiş algılama devresi.

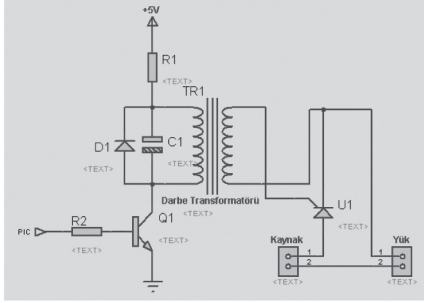
Şekil 3'teki sıfır geçiş algılama devresinde sinüs işaretli gerilim, yarım dalga doğrultucudan geçirilmekte ve PIC'in algılayabileceği aralık olan 0-5 Volt arasında sınırlandırılmaktadır. PIC ile sinyalin yükselen kenarları yakalanmaktadır.

Sıfır geçişi algılanan sinüs işaretli sinyalin yarım periyodu boyunca yani 0-180 derece aralığında tristör anahtarlanaabilmektedir. İlk yapılan devrede sıfır geçiş algılandıktan sonra tristör farklı sabit açılarla anahtarlansmış, kontrol yapılmamıştır. Şekil 4'te tristörlü anahtarlama devresi görülmektedir.



Şekil 4: Tristörlü anahtarlama devresi.

Şekil 4'teki devrede generatörün uyarma devresi yerine rezistif bir yük bağlanmış, ilk çalışmalar bu yük ile yapılmıştır. Tristörlü anahtarlama devresinde tristörü tetiklemek için optokuplör kullanılmıştır. Optokuplör kullanılmasıyla tristörlü devre ile PIC birbirinden elektriksel olarak yalıtılmıştır. Ayrıca optokuplör içerisindeki transistör ile tristör sürüldüğünden, tristör için gerekli olan gate akımı sağlanabilmektedir. Çalışmanın sonraki safhasında, tristörlü anahtarlama devresinde PIC ile tristör arasında yalıtım sağlayan optokuplör için ayrı kaynak ihtiyacından dolayı optokuplör yerine darbe transformatörü kullanılmıştır.

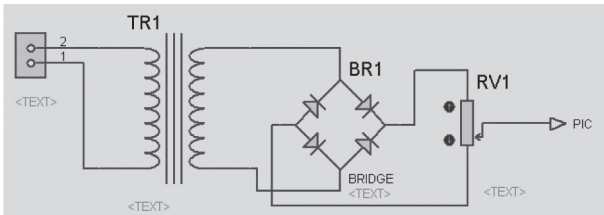


Şekil 5: Darbe transformatörü ile tristör tetikleme devresi.

Şekil 5'te görülen darbe transformatörünün tristörü tetiklemesi için ihtiyaç duyulan akımı sağlaması için devre yolu üzerine kapasite bağlanmasına ihtiyaç vardır.

2.2. Gerilim, Akım ve Frekans Okuma Devreleri

Otomatik voltaj regülatörlerinde generatörün uç gerilimi okunarak generatörün istenilen uç gerilimi değerinde kalmasını sağlayacak şekilde uyarma devresinin geriliminin ayarlanması gerekmektedir. Generatörün uç geriliminin okunmasına geçilmeden önce tek fazlı sinüsoidal bir kaynak kullanılarak PIC ile ölçüm yapılmıştır. Tek fazlı gerilim okuma devresinde, bir transformatör ile gerilim PIC'in ölçüm aralığı olan 0-5 Volt seviyesine düşürülüp köprü doğrultucudan geçirildikten sonra bir potansiyometreli gerilim bölücü üzerinden PIC ile ölçüm yapılmıştır. Potansiyometrenin konumu elle değiştirilerek PIC'e farklı gerilimler okutulmuş ve PIC'in doğru ölçüm yapıp yapmadığı gözlenmiştir.

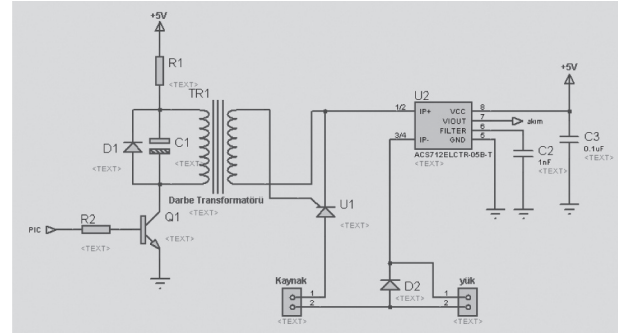


Şekil 6: Tek fazlı gerilim okuma devresi.

Şekil 6'daki tek fazlı gerilim okuma devresinde RV1 potansiyometresinin değeri değiştirilerek farklı gerilimlerde PIC ile ölçümler yapılmıştır. Gerilim değeri PIC'in ADC kanalıyla okunmuş ve 50 kHz örnekleme frekansında 500 adet örnek alınarak denklem (1)'deki ifadeye göre RMS değeri hesaplanarak LCD ekranda görüntülenmiştir.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2}{n}}$$

Senkron generatörlerde uyarma devresini koruma amaçlı olarak uyarma devresinin aşırı akımlar çekmesinin önlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle uyarma devresinin akımı okunarak akımın belli sınırları aşmasının engellenmesi gerekmektedir. Akımın ölçülmesi ACS712 hall etkili akım transdüseri ile yapılmıştır. Transdüserin ölçüm aralığı -5A +5A'dir ve çıkışı 0-5V aralığında doğrusal şekilde değişmektedir. Transdüserin çıkışı mikrodenetleyicinin analog-dijital dönüştürücü kanalı ile belli aralıklarda ölçülerek ortalama akım değeri hesaplanmaktadır. Şekil 7'de akım okuma devresinin şeması verilmektedir.



Şekil 7: Akım okuma devresi.

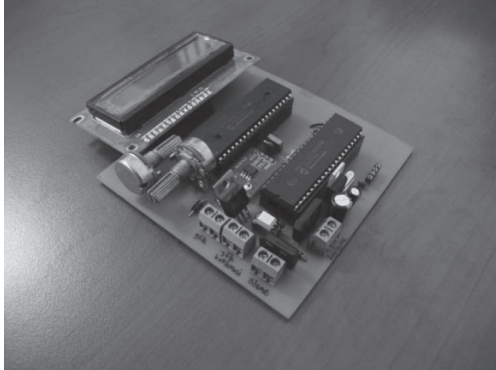
Şekil 7'deki devrede generatörün uyarma devresi yerine rezistif bir yük kullanılmıştır. Tristörlü anahtarlama devresindeki yükün çektiği akım PIC ile okunmuştur. Akım değeri bir LCD ekranda görüntülenmektedir.

Senkron generatörlerde, kalkış anında ve generatörün çıkış frekansının nominal frekansın altına düştüğü durumlarda Volt/Hertz oranı korunarak kontrol yapılması gerekmektedir. Generatörün çıkış frekansının okunmasına geçilmeden önce frekansı değiştirilebilen sinüsoidal bir kaynak kullanılarak PIC ile ölçüm yapılmıştır.

PIC ile frekansın okunabilmesi için sinüsoidal gerilimin

sıfır geçiş noktalarının yakalanması gerekmektedir. İki sıfır geçiş noktaları arasındaki süre sinyalin periyodunu vermektedir. Buradan frekans kolayca bulunabilmektedir. Frekans okuma devresi Şekil 3'te verilen sıfır geçiş algılama devresiyle aynı şekilde tasarlanmıştır. Frekans okuma devresinde de sıfır geçiş noktalarına ihtiyaç duyulduğundan aynı devre şeması kullanılmıştır. PIC ile okunan frekans değeri bir LCD ekranda görüntülenmektedir.

Sıfır geçiş algılama devresi, tristörlü anahtarlama devresi, gerilim, akım ve frekans okuma devrelerinin tasarımından sonra AVR'nin ilk prototipi yapılmıştır. Şekil 8'de görülen AVR'nin ilk prototipi ile çeşitli deneyler yapılmış ve karşılaşılan problemler üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 8: AVR'nin ilk prototipi.

2.3. Kontrol Algoritmasının Yazılması

Generatör uç geriliminin nominal değerinde olmadığı durumlarda generatörün uyarma sargısının gerilimi değiştirilerek uç gerilimin yeniden nominal değere gelmesini sağlayacak şekilde gerilim kontrolü yapılması gerekmektedir. Generatörün frekansının nominal değerinin altında olduğu durumlarda ise Volt/Hertz oranını koruyacak şekilde bir kontrol yapılmaktadır.

Kontrol algoritmasının yazılması sırasında tek bir PIC16F77 mikrodenetleyici ile ölçme ve kontrol algoritmalarının çalıştırılmasında problemlerle karşılaşmıştır. Bu nedenle ölçme ve görüntüleme devreleri için ayrı, kontrol devresi için ayrı iki adet PIC16F877 mikrodenetleyici kullanılmaktadır.

Tasarlanan ilk AVR prototipinde gerilim okuma devresi girişi tek fazlı sinüsoidal bir kaynağa bağlanmıştır. PIC'in ölçtüğü giriş gerilimini değiştirebilmek için Şekil 6'daki RV1 potansiyometresi gerilim bölücü olarak kullanılmıştır. Potansiyometrenin konumu elle değiştirilerek PIC'e farklı gerilimler okutulmuştur.

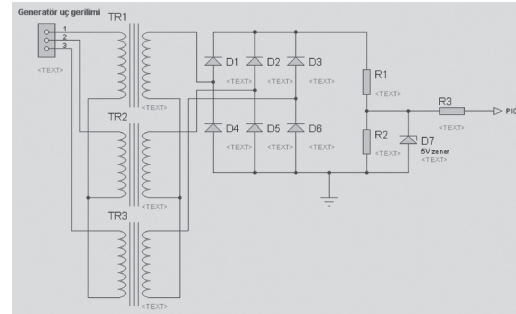
Mikrodenetleyici için, generatörün uyarma devresinin gerilimini kontrol edecek şekilde oransal kontrol yöntemiyle tristörü tetikleyecek bir algoritma yazılmıştır. Şekil 6'daki RV1 potansiyometresinin konumu değiştirilerek tristörün kontrollü bir şekilde anahtarlandığı osiloskop ile gözlenmiştir.

Gerilim kontrolü algoritması yazıldıktan sonra V/f oranının kontrol algoritması üzerinde çalışılmıştır. Generatör çıkış frekansının, nominal çalışma frekansının %95'inin altında olduğu durumlarda Voltaj/Frekans oranını sabit tutacak şekilde oransal kontrol algoritması yazılmıştır.

2.4. Generatörün Uç Gerilimi, Frekansı ve Uyarma Akımının Algılanması

Generatörün nominal uç gerilimi değerinde kalmasını sağlayacak şekilde gerilim kontrolünün yapılabilmesi için generatörün uyarma sargısının geriliminin ayarlanması gerekmektedir. Bu nedenle generatörün uç geriliminin ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Generatör uç geriliminin mikrodenetleyici ile okunabilmesi için gerilimin PIC'in ölçüm aralığı olan 0-5 Volt seviyesine düşürülmesi gerekmektedir. Generatörün çıkış gerilimi transformatörler ile istenilen seviyeye düşürülmüş ve köprü doğrultucu kullanılarak gerilim değeri tam dalga doğrultulmuştur. Gerilim bölücü dirençler yardımı ile düşük seviyedeki gerilimin tepe değeri, generatörün nominal gerilim değerini aşacağı bazı durumlar da göz önünde bulundurularak, 0-5 Volt aralığını aşmayacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 9'da gerilim okuma devresinin şeması verilmiştir.

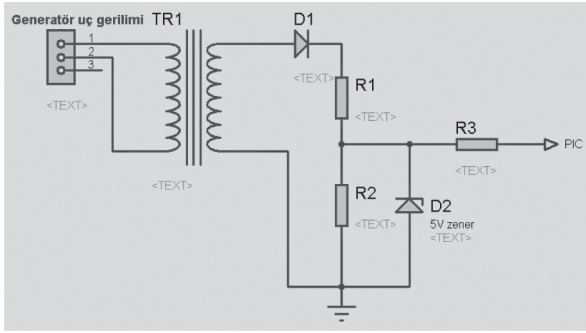


Şekil 9: Gerilim okuma devresi.

Şekil 9'daki gerilim okuma devresinde diyot köprüsünün çıkışı kondansatör ile filtre edilmemiştir. Gerilim değerleri kısa aralıklarla PIC16F877 mikrodenetleyicisinin analog/dijital dönüştürücü kanalı ile okunmakta ve RMS değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer LCD ekranda görüntülenmektedir.

Generatör çıkış frekansının okunması, generatörün nominal frekansının altında çalıştığı durumlarda Volt/Hertz oranının kontrol edilmesi gerektiğinden dolayı önemlidir.

Generatör çıkış frekansının mikrodenetleyici ile okunabilmesi için sıfır geçiş algılama devresi tasarlanmıştır. Tasarlanan yeni devrede Şekil 3'teki kırıcı diyotların yerine 5V'luk bir zener diyot bağlanmıştır. Generatörün çıkışına fazlar arası bağlanan bir transformator ile gerilim düşürülmüş ve bir diyot kullanılarak yarım dalga doğrultucudan geçirilmiştir. Doğrultulmuş olan bu değer gerilim bölücü dirençler ile bir miktar daha azaltılmıştır. Şekil 10'da frekans okuma devresinin şeması verilmektedir.



Şekil 10: Frekans okuma devresi.

Mikrodenetleyici ile frekansın hesaplanması için TMR1 zamanlayıcısı kullanılmıştır. CCP1 yakalama modunda kullanılmış ve sinyalin yükselen kenarları algılanmıştır. İki yükselen kenar arasında kalan süre TMR1 zamanlayıcısı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen bu süre sinyalin periyodunu vermektedir. Periyot değeri frekansa dönüştürülmüş ve LCD ekranda görüntülenmiştir.

Generatörün uyarma devresinin aşırı akımlar çekmesini engellemek amacıyla uyarma devresi akımının ölçülmesi ve PIC tarafından gerekli koruma algoritmalarının oluşturulması gerekmektedir.

Generatörün uyarma devresinin akımının ölçülmesi ACS712 hall etkili akım transdüseri ile yapılmıştır.

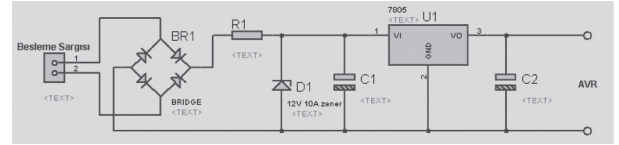
Uyarma devresinin akımının nominal değeri aştığı durumlarda belli bir süre içinde sağlıklı çalışma durumuna dönmediği mikrodenetleyici tarafından tespit edildiğinde uyarma devresinin enerjisi kesilerek generatörün korunmasını sağlayacak bir algoritma yazılmıştır.

Uyarma devresinin akımının ölçülmesinden sonra yapılacak olan ikinci AVR prototipindeki mikrodenetleyicili devrelerin ihtiyacı olan +5V dc

gerilimi sağlayacak sabit bir güç kaynağının tasarımı yapılmıştır.

2.5. AVR Kartı için Sabit Güç Kaynağının Tasarlanması

AVR kartı kaynak olarak generatörün besleme sargısını kullanmaktadır. Generatörün çeşitli çalışma durumlarına göre besleme sargısının gerilimi değişken olmaktadır. AVR kartı ise mikrodenetleyicili bir devre olduğundan dolayı sabit +5 Volt dc gerilime ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle sabit bir güç kaynağı tasarlanmıştır. Güç kaynağının devre şeması Şekil 11'de verilmektedir.

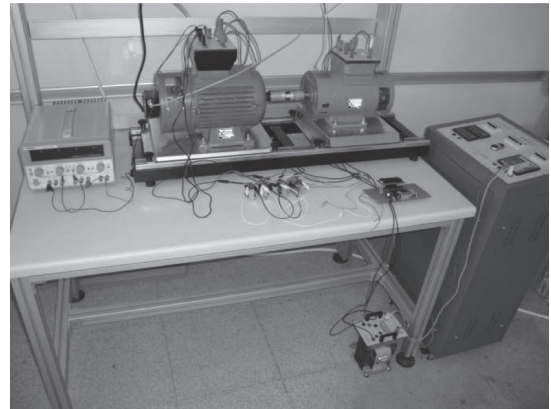


Şekil 11: AVR'nin sabit güç kaynağı devresi.

Şekil 11'deki devrede besleme sargısından alınan sinüs işaretli değişken gerilim köprü doğrultucu ile doğrultulduktan sonra 12V 10A'lık bir zener diyot ile kırılmıştır. Şekil 11'deki seri R1 direnci ile çekilen akım sınırlandırılmıştır. Sabit +5V dc gerilim değerini elde etmek için 7805 voltaj regülatörü kullanılmıştır.

2.6. Deneyler

Tristörlü anahtarlama devresinin tasarımından sonra ikinci AVR prototipi hazırlanmış ve deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde 1kW gücünde 3 fazlı senkron generatör üzerinde çalışılmıştır. Generatör, bir DC kompond motor ile tahrik edilmiştir. Tasarlanan AVR'inin ikinci prototip devresi bir karta basılmış ve generatör uç gerilimini okuma, generatör frekansını okuma, uyarma devresi akımını okuma deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan deney düzeneği Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 12: Deney düzeneği.

Deneyin ilk safhasında generatöre uyarma akımı, ayarlı bir dc güç kaynağından verilmiş, tristörlü tetikleme devresi kullanılmamıştır. Ölçme devrelerindeki donanım ve yazılımla ilgili problemler bu safhada tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde, AVR kartının generatörde oluşan elektromanyetik alandan etkilenerek hatalı ölçüm yaptığı görülmüştür. AVR kartı alüminyum folyo kaplı bir kutunun içine konulmuş ve tekrar test edilmiştir. AVR'nin doğru ölçüm yaptığı görülmüştür. Karşılaşılan diğer bir hata ise, düşük gerilimlerde sıfır geçişlerin algılanamaması ve frekansın doğru ölçülememesidir. Düşük gerilimlerde, sinüs işaretli gerilimin PIC'in yükselen kenar yakalama eşik değeri olan +2.5V dc değerine hiç ulaşmadığı fark edilmiştir. Sıfır geçiş algılama ve frekans okuma devrelerindeki düşürücü transformatörlerin çevirme oranları ile gerilim bölücü dirençlerin değerleri tekrar hesaplanarak değiştirilmiştir. AVR'nin sıfır geçişleri düzgün yakaladığı ve frekansı doğru hesapladığı görülmüştür.

3. Sonuçlar

Senkron generatör üreticisi bir firma için tasarlanmaya çalışılan AVR, generatör gerilimi ve frekansının ölçülmesi safhasında istenen performansa ulaşılmıştır. Gerilimin, V/f oranında ve nominal değerde tutulması için önemli olan bu iki büyüklüğün bilinmesi yanında koruma amaçlı olarak uyarma akımının elde edilmesi çalışmaları devam etmektedir. AVR kartının beslemesi için gerekli olan gerilimi değişken durumlarda elde etmesi için tasarlanan devrenin performansı, firmanın ürünlerinde denendikten sonra istenen olgunluğa ulaştırılacaktır. Oransal kontrol algoritması mikrodenetleyiciye yazılmasına rağmen firmanın ürünlerinde test edilmesi imkânı olmamıştır. Koruma amaçlı algoritmaların da yazılması ile istenen AVR tasarımı firmanın kullanımında istenen performansa ulaşmış olacaktır. Sadece yazılımla yapılacak değişikliklerle, oransal, oransal-integral ve bulanık mantık algoritmalarının mikrodenetleyiciye yüklenmesi ile farklı denetim algoritmalarının performans üstünlüklerini irdeleme imkanı da bu çalışmada mevcuttur.

4. Kaynaklar

- [1] Saadat, H., Power System Analysis, McGraw-Hill, 2004.
- [2] Kundur, P., Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994.
- [3] <http://www.gensan.info.tr/>
- [4] ANSI/IEEE Std 421.1-1986.
- [5] Dong-Hee Lee, Tae-Hyoung Kim ve Jin-Woo Ahn, "Control of Digital AVR in Stand Alone Generator for Improved Dynamic Characteristics", Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE, 2008, 1978 - 1982.
- [6] Kiyong Kim, Rao, P. ve Burnworth, J.A., "Self-Tunnig of The PID Controller for a Digital Excitation Control System", Industry Applications, IEEE Transactions on, 2010, 1518 - 1524.
- [7] <http://www.genpowerusa.com/>
- [8] <http://www.stamfordgeneratorsuk.com/avr.html>
- [9] <http://www.leroysoner.com.tr/>
- [10] <http://www.marathonelectric.com/generators/avrManuals.jsp>
- [11] <http://www.basler.com/>
- [12] <http://www.sincrospareparts.com/>
- [13] <http://www.genpowerusa.com/pdf/avrs/voltage-regulatorstamford-MA330-AVK-avr.pdf>
- [14] http://www.sogaenergyteam.com/FILES_UPLOAD/AVR TERM%20USER%20GUIDE_2.pdf